مقایسه ی روش های بهسازی لرزه ای سازه ی پی های آسیب پذیر در برابر زلزله

پیمان امینی مطلق[1]، علی پاک[2]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

aminimotlagh_p@mehr.sharif.ir

2- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

pak@sharif.ir

چکیده

به طور کلی سه استراتژی " کاهش مخاطرات ساختگاه"، "بهسازی لرزه ای سازه ی پی ها"، و "جداسازی لرزه ای زمین از سازه ی روی آن" برای بهسازی لرزه ای پی های آسیب پذیر در برابر زلزله وجود دارد. این مقاله به بررسی روش های پیشنهاد شده توسط آئین نامه های مختلف در خصوص استراتژی دوم یعنی بهسازی لرزه ای سازه ی پی ها اختصاص دارد. روش های پیشنهادی آیین نامه های مختلف در قالب سه رویکرد ساخت پی های جدید در کنار پی های موجود، برطرف کردن کمبودهای سازه ای در محل اتصالات پی ها، و تقویت پی های موجود دسته بندی و ارائه شده اند. پس از بحث در خصوص روش ها و جنبه های اجرایی آن ها، نواقص آیین نامه های موجود و خصوصا آیین نامه ایران مورد بحث قرار گرفته است.

واژه های کلیدی : بهسازی لرزه ای پی، ریزشمع، شمع، آیین نامه بهسازی لرزه ای

Archive of SID

www.SID.ir

1. مقدمه

اگرچه افزودن پی‌های جدید یا تکمیل پی‌های موجود برای اعضای اضافه شده به سازه‌ی اصلی جهت افزایش مقاومت سازه در مقابل زلزله در بهسازی لرزه ای متداول است، ولی بهسازی و رفع کمبودهای سازه ای پی های موجود در مقایسه با مورد بالا کمتر مورد توجه قرار گرفته است. دو دلیل عمده برای این موضوع وجود دارد، نخست اینکه عملیات بهسازی پی ساختمان موجود بسیار هزینه‌بر است و دوم اینکه در گزارش‌های رسیده از بررسی‌های اولیه در خصوص موارد آسیب ساختمان ها در زلزله، تعداد نسبتا کمی از آسیب‌های وارده ناشی از گسیختگی پی گزارش شده است. چنانچه تحلیل منطقی نشان دهد که پی‌های جدید باید افزوده شوند و یا پی‌های موجود بایستی اصلاح گردند، مهندسین سازه و ژئوتکنیک باید اطلاعات کافی از انواع روش های بهسازی لرزه ای سازه ی انواع پی ها داشته باشند[1].

در آیین نامه بهسازی لرزه ای کشور ایران[2] (که به نحوی ترجمه ی آیین نامه ی کشور آمریکا است) و همچنین آیین نامه های بهسازی لرزه ای کشورهای کانادا[3]، هند[4] و آمریکا[1] به موضوع بهسازی لرزه ای سازه ی پی ها توجه شده است. روش های بهسازی لرزه ای سازه ی پی ها، ذکرشده در آیین نامه های بهسازی لرزه ای کشورهای مذکور به طور خلاصه، در جدول 1 آورده شده است. در کشور نیوزلند، گزارشی تحقیقاتی در زمینه ی بهسازی لرزه ای پی ها ارائه شده است که به دلیل تمرکز بر سازه های چوبی، در کشور ایران کاربردی ندارد[5]. درآیین نامه ی اروپایی(یوروکد) شماره 8 در زمینه ی پی ها، به بحث بهسازی لرزه ای پی ها پرداخته نشده است[6]. همچنین در کشور ژاپن آیین نامه ای به زبان انگلیسی در زمینه ی بهسازی لرزه ای پی ها منتشر نشده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 1- روش‌های بهسازی لرزه‌ای سازه ی پی ها، ذکرشده در آیین‌نامه‌ی کشورهای آمریکا، کانادا و هند[1و3و4]

کشور	روش‌های بهسازی لرزه ای سازه ی پی ها
آمریکا **Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (FEMA[1]547)**	1- ساخت پی سطحی در مجاورت پی سطحی موجود 2- ساخت پی سطحی در مجاورت پی عمیق موجود 3- ساخت پی عمیق در مجاورت پی سطحی موجود 4- ساخت پی عمیق جدید در مجاورت پی عمیق موجود 5- استفاده از ریز شمع‌ها 6- افزایش طول یا جایگزینی یک پی منفرد موجود 7- استفاده از پی گسترده در بین پی‌های عمیق(شمع ها) موجود 8- افزودن آرماتورهای فوقانی به کلاهک شمع موجود
کانادا **Guideline for Seismic Upgrading of Building Structures (NRCC[2])**	1- ساخت پی عمیق در مجاورت پی سطحی موجود 2- زیر بندی پی موجود 3- افزایش ابعاد پی منفرد موجود
هند **Handbook on Seismic Retrofit of Buildings**	1- افزایش ابعاد پی موجود 2- استفاده از ریزشمع‌ها 3- زیربندی پی موجود 4- تقویت سازه‌ای شمع‌های ساخته شده 5- تقویت ورق کف ستون

2. روش‌های بهسازی لرزه‌ای سازه ی انواع پی‌ها

به طور کلی بهسازی لرزه‌ای سازه ی پی‌های موجود از سه رویکرد قابل بررسی و مورد نیاز است:

2-1 رویکرد اول: ساخت پی های جدید در کنار پی های موجود

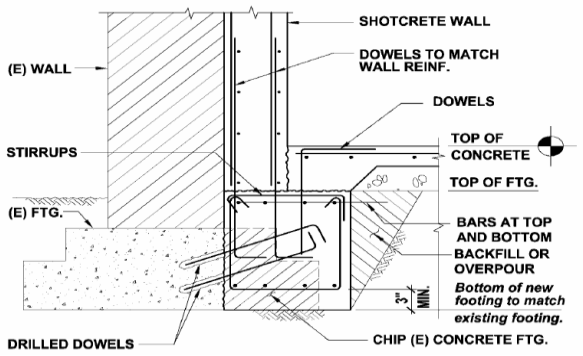
[1] Federal Emergency Management Agency
[2] National Research Council of Canada

Archive of SID
www.SID.ir

هنگامی‌که اعضای جدیدی از قبیل دیوار برشی و قاب مهاربندی شده به هنگام بهسازی لرزه ای سازه‌ی قدیمی ضروری تشخیص داده شود و همچنین در مواقعی که پوشش بتنی جدید بر روی دیوار موجود استفاده شود، معمولا به پی جدیدی نیاز می‌باشد. حالات متداول تعبیه انواع پی‌های جدید به شرح زیر است[1] :

2- 1-1 ساخت پی سطحی در مجاورت پی سطحی موجود

در این حالت در اغلب اوقات پی موجود، پی نواری ممتد است و به دلیل اضافه شدن پوشش بتنی جدید بر روی دیوار، از پی نواری جدید در مجاورت پی نواری قبلی استفاده می شود. روند اجرای پی جدید، مطابق شکل 1 می باشد : 1. گودبرداری پی جدید انجام می شود. 2. قسمتی از پی موجود برداشته شده و سطح برداشته شده مضرس می گردد. 3. جهت جاسازی میلگردهای اتصال با استفاده از مته سوراخ هایی در محل های از پیش تعیین شده توسط طراح در پی موجود ایجاد می شود. 4. میلگردهای اتصال در محل مورد نظر جاسازی می شوند. 5. دوغاب سیمان تحت فشار در فضای خالی بین میلگرد های اتصال و بتن پی قدیمی تزریق می شود. 6. پی جدید در کنار پی قدیمی بتن ریزی می شود. 7. فضای حاصل از گودبرداری که بعد از ساخت پی جدید خالی مانده با خاک و یا بتن مازاد پر می شود. 8. پس از گرفتن بتن پی جدید، پوشش بتنی جدید به دیوار قدیمی اضافه می شود.

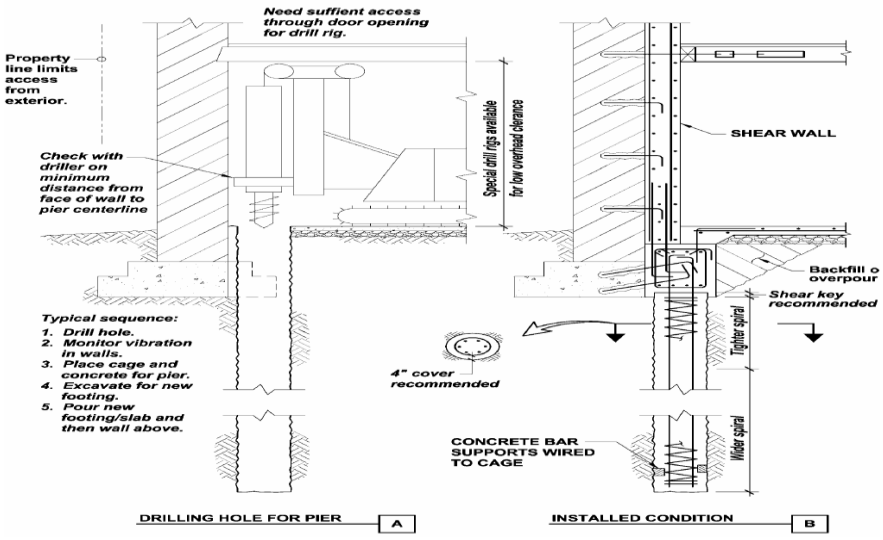


شکل 1- افزودن پی سطحی در مجاورت پی سطحی موجود [1]

2-1-2 ساخت پی عمیق در مجاورت پی سطحی موجود

Archive of SID
www.SID.ir

اجرای این روش در مواردی مانند ساخت شمع در زیر دیوار جدید و در مجاورت پی نواری موجود، به خوبی انجام می پذیرد. روند ساخت شمع جدید در کنار پی نواری مطابق شکل 2 براساس مراحل زیر می باشد : 1. قسمتی از پی موجود تخریب و برداشته شده و سطح برداشته شده مضرس می شود. 2. گودالی در کنار پی موجود در محل تخریب شده حفر می گردد. 3. شبکه آرماتور در داخل گودال قرار گرفته و بتن ریزی در داخل آن انجام می شود. 4. کلاهک شمع بر روی شمع های جدید اجرا می شود. 5. کلاهک و سپس دیوار روی آن بتن ریزی می شود.



شکل 2- افزودن پی عمیق در مجاورت پی سطحی موجود [1]

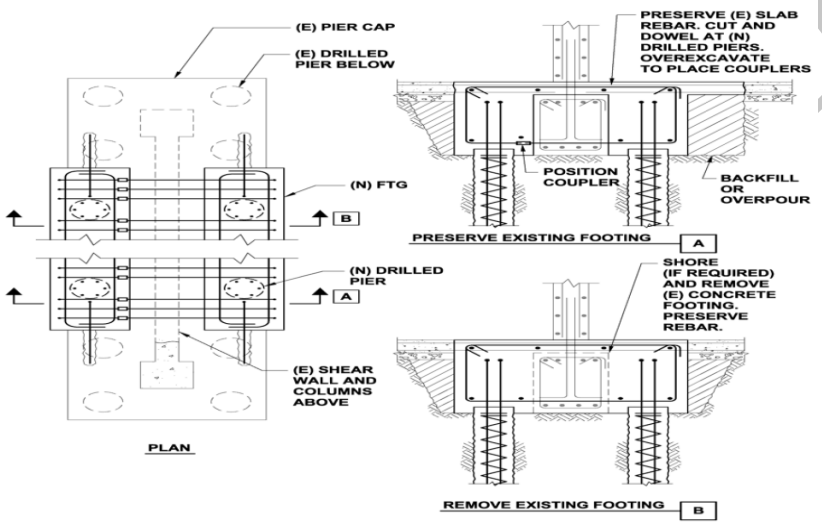
2- 1-3 ساخت پی سطحی جدید در مجاورت پی عمیق موجود

اجرای پی سطحی جدید در مجاورت پی عمیق به دو دلیل به ندرت انجام می گیرد. نخست اینکه، پی موجود به این دلیل عمیق تعبیه شده که شرایط خاک یا وضعیت بارگذاری سازه ای اجازه ی استفاده از پی سطحی را نمی داده است. دوم اینکه، اگر پی جدید بالاتر از پی موجود باشد، پی جدید بارهای گرانشی و لرزه ای به پی موجود اعمال می کند که عمدتا مطلوب نیست.

2-1-4 ساخت پی عمیق جدید در مجاورت پی عمیق موجود

www.SID.ir

پی عمیق موجود در زیر دیوار برشی ممکن است دارای کمبود ظرفیت فشاری در پنجه، ظرفیت کششی در پاشنه یا آرماتورهای ناکافی برای تحمل تقاضاهای جانبی باشد. افزودن پی های عمیق جدید با جزئیات مناسب سبب کاهش تقاضا روی پی های موجود یا افزایش ظرفیت و شکل پذیری کلی سیستم پی می شود. شکل 3 نمونه ای از اجرای پی عمیق در مجاورت پی عمیق موجود را نشان می دهد.



شکل 3- افزودن پی عمیق در مجاورت پی عمیق موجود [1]

2-2 رویکرد دوم: برطرف کردن کمبودهای سازه‌ای در محل اتصالات پی ها

هنگامی‌که محاسبات مجدد بر اساس آیین‌نامه‌های جدید لرزه‌ای نشان‌دهنده‌ی عدم کفایت مقاومت در محل اتصالات باشد، لازم است تا این کمبودها در محل اتصالات مرتفع گردد. این مشکلات شامل موارد زیر است :1)کافی نبودن مقاومت ورق‌های کف ستون در زیر ستون فولادی در محل اتصال به پی2)کافی نبودن مقاومت سازه‌ای پی در محل اتصال ستون بتنی به پی3)کافی نبودن مقاومت شناژها در پی‌های منفرد و همچنین ناکافی بودن مقاومت کلاف‌ها در پی‌های مرکب . در ادامه‌ی این قسمت راهکارهای مقابله با این مشکلات تشریح می‌گردد:

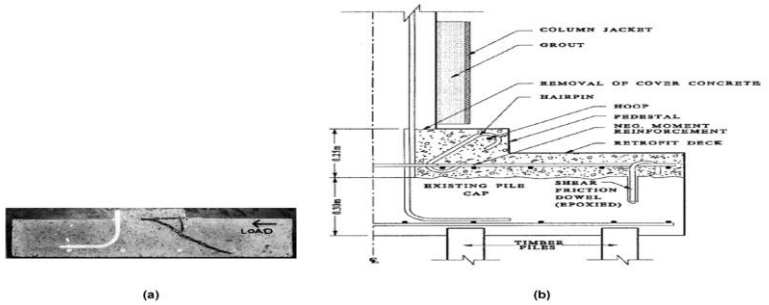
2-2-1 تقویت ورق کف ستون در صورت کافی نبودن مقاومت آن برای انتقال بارها و لنگرهای ستون به پی سازه

www.SID.ir

در صورتی که محاسبات مجدد برای مقادیر جدید لنگر خمشی و نیروی برشی بر اساس آیین نامه های لرزه ای جدید نیاز به مقادیر بیشتر ضخامت برای ورق کف ستون را نشان دهد[7]، بایستی ضخامت ورق کف ستون افزایش یابد. افزایش ضخامت ورق کف ستون معمولا امکان پذیر نیست، فلذا معمولا به جای افزایش ضخامت ورق کف ستون، از سخت کننده در ورق کف ستون استفاده می شود. سخت کننده مشابه جان مقطع برای انتقال برش است؛ اما از نظر کاهش ضخامت خمشی ورق نیز می تواند مفید باشد.

2-2-2 استفاده از پوشش بتنی در سطح بالایی پی جهت تقویت پی در محل اتصال ستون بتنی به پی

پریستلی[3] و همکاران خاطرنشان ساختند که گسیختگی برشی مطابق شکل a-4 در محل اتصال ستون بتنی به پی محتمل می باشد[8] . آزمایش هایی بر روی انواع نمونه های بهسازی شده انجام گرفت و نشان داده شد که استفاده ی توأم از دال بتنی روی پی قدیمی، تعبیه آرماتور برای ممان منفی در دال جدید، ساخت ستونچه (پدستال) بر روی دال جدید، تعبیه قلاب برای اتصال ستونچه و دال جدید و همچنین تعبیه آرماتورهای اتصال برای متصل کردن پی قدیمی و دال جدید، مطابق شکل b-4 ، دارای کارایی خوبی برای بهسازی لرزه ای و برطرف کردن این مشکل می باشد[9] .



شکل 4- (a)گسیختگی برشی(b)تمهیدات لازم جهت بهسازی لرزه ای در محل اتصال ستون بتنی به پی [8و9]

2-2-3 افزایش ابعاد سنگ متصل کننده‌ی پی‌های منفرد و همچنین افزایش ابعاد طرف در پی‌های مرکب

[3] Priestley

www.SID.ir

شناژها اعضایی بتنی بوده و به صورت کششی طراحی می شوند. وظیفه ی اصلی شناژ، جلوگیری از حرکت احتمالی پی در امتداد افقی به هنگام زلزله است. در صورتی که شناژها برای بارهای کمتری طراحی شده باشند، لازم است به هنگام مقاوم سازی لرزه ای پی، ابعاد شناژ افزایش یابد(شکل 5)[10].

شکل 5- افزایش ابعاد شناژ

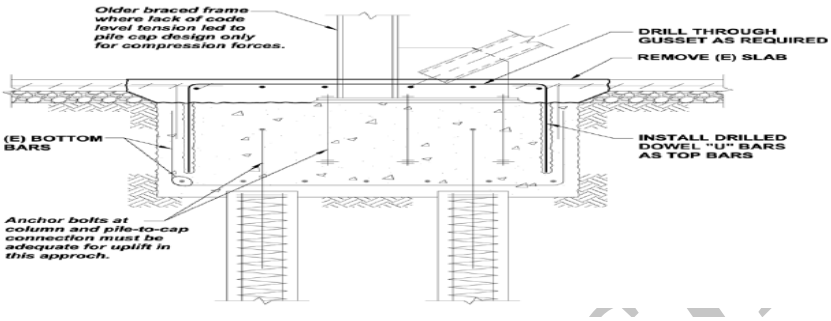
تیر رابط در پی های مرکب یا باسکولی، کلاف نامیده می شود و یک عضو خمشی است که نقش تعدیل، انتقال و توزیع بار بین دو پی مجاور را ایفا می کند و در ضمن باعث کاهش نشست نامتقارن بین دو ستون نیز می گردد. این موضوع همان تفاوت اساسی بین کلاف وشناژ است. در صورتی که کلاف نیز بر اساس آیین نامه های قدیمی طراحی شده باشد، نیاز است برای انطباق با آیین نامه های جدید به هنگام مقاوم سازی لرزه ای پی، ابعاد کلاف افزایش یابد[10].

2-2-4 افزودن آرماتورهای فوقانی به کلاهک شمع موجود

ممکن است که کلاهک شمع به دلیل عدم در نظر گرفتن بلندشدگی در طراحی اولیه، دارای کمبودهایی در آرماتورهای فوقانی باشد. هنگامی که از روش Pushover در تحلیل استفاده می شود، احتمال دارد در نقاطی بلندشدگی داشته باشیم و نیاز به آرماتورهای فوقانی در کلاهک شمع باشد. در این روش بهسازی پی، از میلگردهای جدید U شکل، مطابق شکل 6 استفاده می شود و دو ساق آرماتور U شکل باید به طور همزمان در

www.SID.ir

کلاهک شمع قرار گیرند. از میلگردهای L شکل و همپوشانی آن ها در بالای کلاهک نیز می توان برای بهسازی لرزه ای دال کلاهک شمع استفاده کرد[1].



شکل 6- افزودن آرماتورهای فوقانی به کلاهک شمع موجود [1]

2-3 رویکرد سوم: تقویت پی های موجود

پی سازه های قدیمی که بر اساس آیین نامه های قدیمی طراحی شده اند، ممکن است در مقابل تقاضای لرزه ای جدید کمبودهای سازه ای داشته باشند. برای برآورده کردن تقاضای لرزه ای جدید از روش های زیر می توان استفاده نمود.

2-3-1 استفاده از ریزشمع ها

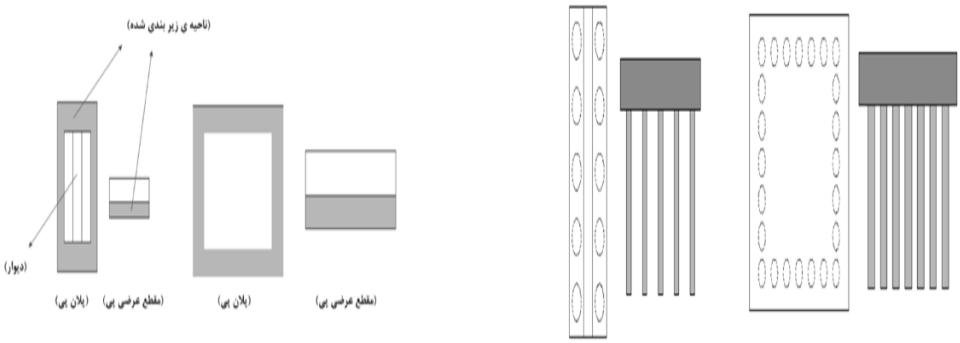
ریز شمع ها، شمع های حفاری شده و تزریق شده با قطر کوچک هستند که جهت تقویت و مقاوم سازی پی ها به کار می روند. انواع ریز شمع ها بر حسب نحوه ی اجرای آن ها ریزشمع های با ظرفیت بالا[4] یا ریزشمع های درجاریز با تقویتی از جنس تایتان، ریزشمع های ST[5] و ریزشمع های مارپیچی چندگانه[6] می باشند[11].

2-3-2 زیربندی[7] پی موجود

[4] High Capacity Micropiles
[5] Strong and Tube-Fix Micropiles
[6] Multi-Helix Micropiles

Archive of SID
www.SID.ir

زیربندی به معنی کندن تعدادی گودال با طول کوتاه در زیر پی موجود است که در فواصل کافی از هم قرار گرفته اند. سپس زیر پی موجود در مجاورت این گودال ها، حفاری شده و بتن ریزی می شود. تکمیل زیربندی پی با حفر گودال و بتن ریزی در بین گودال های اولیه صورت می گیرد. نحوه ی اجرای این روش در شکل a-7 نشان داده شده است. روش دیگر زیربندی، ساخت پی های ستونی بلند(شمع) به طور متناوب در زیر پی قدیمی به منظور انتقال بار پی به عمق بیشتر است. نحوه ی اجرای این روش درشکل b-7 نشان داده شده است.



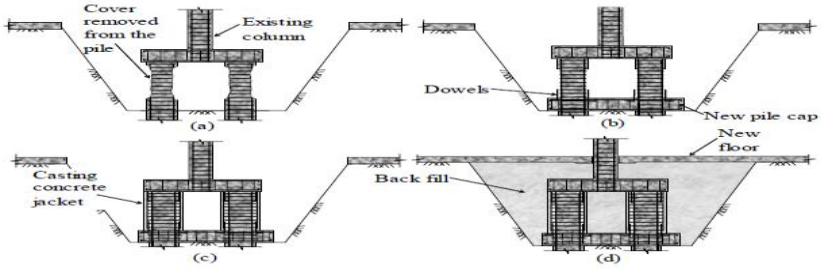
شکل 7- (a) روش زیربندی کم عمق (b) روش زیربندی عمیق

2-3-3 تقویت سازه ای شمع های ساخته شده

در این روش ابتدا حفاری تا عمق مورد نظر انجام می شود تا طولی از شمع که می خواهیم عمل بهسازی روی آن انجام شود نمایان گردد. سپس در کف قسمت حفاری شده سرشمع جدید و آرماتورهای اتصال نصب می شود (شکل a-8 و b-8). در مرحله ی بعد پوشش فولادی که درونش با گروت پر می شود یا آرماتور به همراه بتن در اطراف شمع برای تقویت شمع اجرا می شود (شکل c-8). در نهایت خاکریزی در محل حفاری شده انجام می شود و این خاک متراکم می گردد (شکل d-8)[4]. این روش در بهسازی لرزه ای ستون ها متداول است و به روش *Jacketing* موسوم است[9].

[7] Underpinning

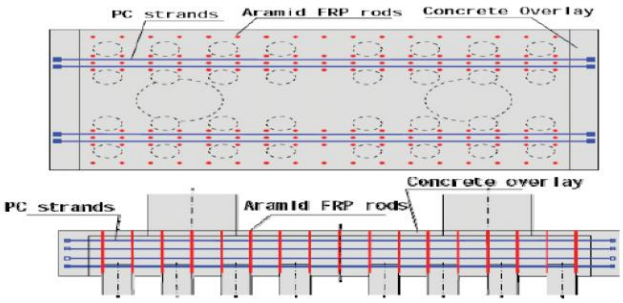
www.SID.ir



شکل 8- تقویت سازه ای شمع های ساخته شده [4]

2-3-4 استفاده از نیروی پیش تنیدگی افقی و قائم برای بهسازی فونداسیون

می دانیم که محصورشدگی بتن باعث افزایش ظرفیت باربری آن می شود. این روش که بیشتر جنبه ی تئوری دارد، در صورت اجرا بهتر است در پی های غیرمسلح با عرض یا ضخامت کم اجرا شود. این روش با عبور آرماتور از درون بتن پی و پیش تنیده کردن آن انجام می گیرد و از این طریق باعث افزایش ظرفیت باربری پی می گردد (شکل 9) .



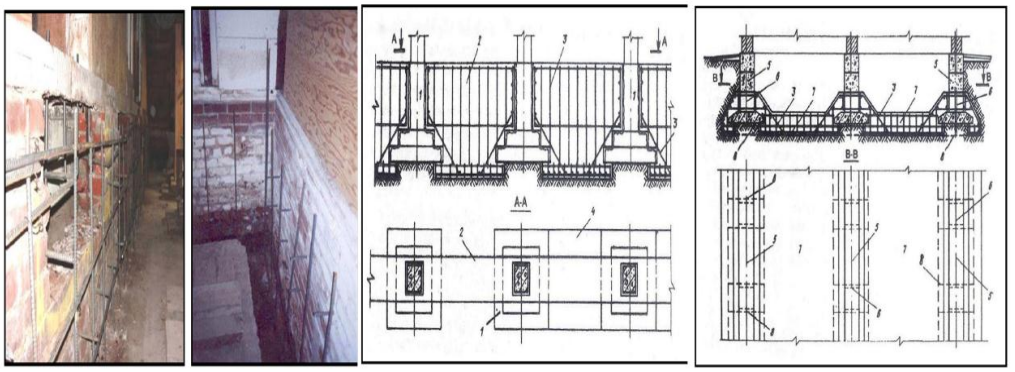
شکل 9- استفاده از نیروی پیش تنیدگی برای بهسازی پی

2-3-5 تغییر نوع پی

زمانی که در محاسبات مجدد سازه تحت بار زلزله، خطر نشست نامتقارن در پی های منفرد و یا نواری مشاهده شود، در این صورت یک گزینه تغییر نوع پی های منفرد به پی نواری و پی های نواری به پی گسترده می باشد. نحوه ی اجرای این روش به این گونه است که ابتدا مقداری از بتن روی آرماتورهای موجود را برمی دارند تا آرماتورهای موجود در پی نمایان شوند (شکل 10- a). سپس دیواری بتنی را در بین پی های منفرد برای تغییر

www.SID.ir

نوع پی منفرد به پی نواری اجرا می کنند (شکل 10- b). همین شیوه ی اجرا برای تغییر نوع پی از نواری به گسترده نیز به کار گرفته می شود (شکل 10- c) [12].



(a) (b) (c)

شکل 10- (a) برداشتن بتن روی آرماتورها(b) تغییر پی منفرد به پی نواری(c) تغییر پی نواری به پی گسترده [12]

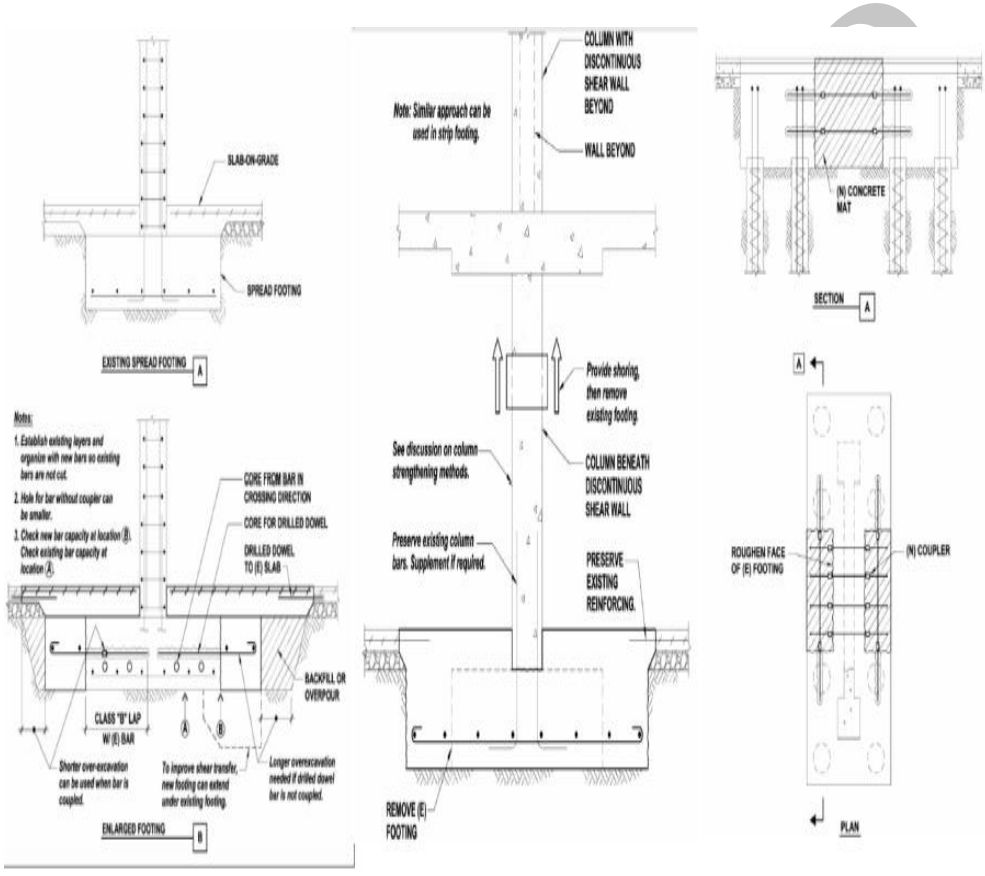
2-3-6 افزایش طول یا جایگزینی یک پی منفرد موجود

افزایش طول پی، مشابه روش ساخت پی سطحی در مجاورت پی سطحی موجود مطابق شکل 11- a اجرا می شود. با این تفاوت که در این روش به دلیل کمبود ظرفیت باربری پی و نه به دلیل اضافه کردن المان باربر سازه ای مجبور به افزایش طول پی هستیم. مطابق شکل11- a آرماتورهایی از طرفین در مقطع تعبیه می شوند، اما این آرماتورها به دیگر وجوه نمی رسند. ظرفیت برشی در این روش افزایش نمی یابد مگر اینکه برای بهبود انتقال برش، پی جدید در زیر پی موجود امتداد داده شود. همچنین ظرفیت خمشی باید در موقعیت های بحرانی A و B کنترل شود. موقعیت A عموما تعیین کننده است. چنانچه رسیدن به ظرفیت مطلوب امکان پذیر نباشد، بایستی سازه را با استفاده از جک هایی نگه داشته و بار پی را با استفاده از تیرهای همبند به پی های دیگر منتقل کرده و مطابق شکل 11- b پی را جایگزین نمود[1].

www.SID.ir

2-3-7 استفاده از پی گسترده در بین پی های عمیق (شمع ها) موجود

چنانچه خاک با ظرفیت باربری مناسب در عمق 1/5 متری بستر ساختمان وجود داشته باشد، استفاده از پی گسترده در بین شمع های موجود روش مناسبی برای بهسازی لرزه ای پی می باشد. نحوه ی اجرای این روش، مانند روش افزایش طول پی مطابق شکل 11- c می باشد[1].



(a) (b) (c)

شکل11- (a)تغییرطول یک پی منفرد موجود(b)جایگزین کردن یک پی منفرد موجود (c)استفاده از پی گسترده در بین پی های ستونی درجای موجود [1]

3. نتیجه گیری

www.SID.ir

پی‌سازه‌های قدیمی که بر اساس آیین‌نامه‌های قبلی طراحی شده‌اند ممکن است طبق آیین نامه های لرزه ای جدید، دچار کمبودهای سازه‌ای باشند که لازم است این کمبودها برطرف گردند. همچنین ممکن است که در یک پروژه‌ی بهسازی لرزه‌ای، اجزایی از سازه همچون ستون‌ها نیاز به افزایش بعد داشته باشند، یا به‌طورکلی در سازه تغییراتی حاصل شود که به تناسب آن، نیاز به تغییراتی در سیستم پی به وجود آید. از اینرو در این مقاله به انواع روش‌های بهسازی لرزه‌ای سازه‌ی پی‌ها پرداخته شده است.

در مقاله حاضر روش های پیشنهاد شده در آیین نامه ی بهسازی لرزه ای کشور ایران [2] و همچنین آیین نامه های بهسازی لرزه ای کشور های کانادا[3]، هند[4] و آمریکا[1] مورد بررسی قرار گرفته و به طور خلاصه روش های بهسازی سازه ی پی ها، در قالب سه رویکرد ساخت پی های جدید در کنار پی های موجود، برطرف کردن کمبودهای سازه ای در محل اتصالات پی ها، و تقویت پی های موجود مورد بحث قرار گرفته است.

همانطور که درمتن مقاله آمده است هریک از آیین نامه ها دارای نواقصی در خصوص بهسازی لرزه ای پی ها هستند و برخی دیگر از آیین نامه ها اساسا در زمینه بهسازی پی ها مطلبی عنوان نکرده اند. پیشنهاد می شود روش های "تقویت ورق کف ستون "، "استفاده از پوشش بتنی در سطح بالایی پی جهت تقویت پی در محل اتصال ستون بتنی به پی"، "افزایش ابعاد شناژ متصل کننده ی پی های منفرد و همچنین افزایش ابعاد کلاف در پی های مرکب"، "زیربندی پی موجود"، "تقویت سازه ای شمع های ساخته شده"، "استفاده از نیروی پیش تنیدگی افقی و قائم برای بهسازی فونداسیون"، و "تغییر نوع پی" به بخشی با عنوان راهکارهای بهسازی پی در فصل یازدهم آیین نامه ی دستورالعمل ارزیابی و بهسازی لرزه ای ساختمان های بتنی متداول[2] که در حال حاضر به عنوان آیین نامه ی بهسازی لرزه ای در کشور ایران استفاده می گردد، اضافه شود.

4. مراجع

Archive of SID
www.SID.ir

[1] FEMA 547, Techniques for the seismic rehabilitation of existing buildings, 2006
[2] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ؛ دستورالعمل ارزیابی و بهسازی لرزه ای ساختمان های بتنی متداول ؛ انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ؛ شماره نشر ض-622 ؛ 1391
[3] Guideline for Seismic Upgrading of Building Structures, Institute for Research in Construction & National Research Council of Canada, 1995
[4] Handbook on Seismic Retrofit of Buildings, Central Public Works Department & Indian Building Congress, 2007
[5] Liddicoat,S. , Thomas,G. "Retrofitting House Foundations to Resist Earthquakes, A Literature Review", Center for Building Performance Research, 2011
[6] Eurocode 8, Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures-Part5: Foundations, Retaining Structures and Geotechnical Aspects, 1998
[7] Amini Motlagh,P. , Pak,A. "Seismic Retrofitting of Foundations", Research Project Report (In Farsi), Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran, 2013
[8] Priestley,M.J.N. , Sieble,F. , Calvi,G.M. "Seismic Design and Retrofit of Bridges" , John Wiley & Sons Inc., 1996
[9] McLean,D.I. , March,M.L. "Seismic Retrofitting of Bridge Foundations", ACI Structural Journal, V.96, No.2, March-April 1999,pp.174-182
[10] Bowles,J.E. "Foundation Analysis and Design", McGraw-Hill, 1996
[11] Nishitani,M. , Umebara,T. , Fukui,J. "Development of Seismic Retrofitting Technologies for Existing Foundations", A Cooperative Research Report on Developments of Seismic Retrofitting Methods for Existing Foundations
[12] Ginzburg,L.K. , Shvets,V.B. , Feklin,V.I. "Reinforcement and Reconstruction of Foundations", Balkema, 1996

Archive of SID

www.SID.ir